

A（地球環境学）解答例

問題 1

問 1 供給サービス：火災による木材の焼損により，高価値な木の根元に近い木材などの供給量が減少する．

（林産物の供給低下など供給サービスであれば可）

調整・維持サービス：火災による下層植生の消失で，表層土壌が流出し，一時的に土壌に貯留できる水が失われる．

（生物多様性の低下，二酸化炭素放出など調整維持サービスであれば可）

文化的サービス：火災による森林消失で，ハイキングなどレクリエーションや教育の場を消失する．

（景観など文化的サービスであれば可）

問 2 （１）薪， （２）石炭， （３）電力

問 3 1950年代から1970年にかけて，戦後森林が利用され尽くされていた1950年代から盛んにおこなわれた人工造林やその植栽初期の管理のため，また燃料資源の採取のため，森を利用する人が多く林野火災が増える傾向にあった．それ以降，林野火災の件数や焼損面積は，人工林の成長に伴い森林内の乾燥が緩和され，水分保持力の高い土壌が発達したことや，社会情勢として禁煙化や野焼き禁止，また森と関わる人の利用も減少したことから，減少傾向にある．

問 4 気候変動に伴う温度上昇により飽和水蒸気量が高くなり，相対湿度が低下することで土壌や植物が乾燥化し燃えやすい状態になること，また速やかに小規模で森林火災を消火してきた管理や，下刈りなどの管理不足などにより，枝葉など燃焼可能な資源の蓄積が増すことで，焼損規模が拡大することが考えられる．

問題 2

問 1 森林を伐採し農地や都市へ土地利用を変更すると、伐採木材製品の炭素貯蔵効果が発揮されない場合には、樹木に蓄えられていた炭素が燃焼や分解によって二酸化炭素として放出される。また森林や草地を農地や都市へ転換すると、土壌への有機炭素の供給量に対して分解量が上回り、土壌に蓄積されていた炭素が大気中へ放出される。

問 2 二酸化硫黄は石炭火力発電や重油燃焼で排出され、大気中で硫酸エアロゾルに変化する。これが太陽光を反射・散乱すること、エアロゾルが雲凝結核となって雲粒が増え雲の反射率を高めること、雲粒のサイズが小さくなるため雨になりにくく雲の寿命が長くなるため気温を低下させる効果を持つ。

問 3 適応策とは、気候変動の影響に対応し被害を軽減するための対策である。例えば海面上昇に備えた防潮堤の整備、猛暑への対処としての熱中症対策や都市の緑化、農作物の耐暑品種への転換などが挙げられる。

問 4 ハロゲン化ガスはエアコンや冷蔵庫などの冷媒、発泡剤、消火剤などに用いられる。強い温室効果があるため、緩和策として代替物質への転換、回収と破壊の制度化、漏出防止等の規制強化などが行われている。

B（地球科学Ⅰ）解答例

問題 1

問 1

境界面A：(d) 境界面B：(c)

問 2

[i] : その上に地層Aが堆積したことで、花崗岩と地層Aの境界で不整合面（境界面A）が形成した.

[ii] : 地層Bが削剥され、その上に地層Cが堆積したことで、地層Bと地層Cの境界で不整合面（境界面B）が形成した.

[iii] : 安山岩岩脈が花崗岩、地層A、地層B、地層D、および地層Eに貫入した.

[iv] : 断層Aが形成され、花崗岩、地層A、地層B、地層E、および安山岩岩脈に変位を与えた.

問 3

圧密作用：地層の重みにより堆積物が圧力を受け、粒子の隙間に含まれていた間隙水が絞り出され、粒子同士が密着する作用.

膠結（セメント化）作用：水の中に溶けていたイオンが鉱物として沈殿および結晶化し、接着剤のように粒子の隙間を埋めて固定する作用.

問題 2

問 1

[i] : (b) [ii] : (b) [iii] : (a) [iv] : (b)

[v] : (c) [vi] : (d) [vii] : (b)

[viii] : (b) [ix] : (a) [x] : (b)

問 2 珪質泥岩、泥岩、および砂岩・泥岩の層厚は付加体A～Cで変化していない

一方、付加体Aから付加体Bにかけて放散虫チャートの層厚は減少し、付加体Cでは放散虫チャートが欠如している。これは、付加体Aを形成した海洋プレートから付加体Cを形成した海洋プレートにかけて、放散虫チャートが堆積する遠洋性堆積場が短縮したことを示す。すなわち、海洋プレートを形成した海嶺が接近した、あるいは海嶺と海溝間の距離が短縮したことを示す。

問題3

問1 A：カンブリア B：石炭 C：第四

問2 オルドビス紀—シルル紀，デボン紀—石炭紀（デボン紀後期またはフラニアーン—ファメニアン），ペルム紀—三畳紀，三畳紀—ジュラ紀，白亜紀—古第三紀

[これらのうち、3つ選んでいれば正答とする。]

問3 白亜紀—古第三紀境界期においては、陸では恐竜、海ではアンモナイトや大型爬虫類が絶滅した。現在の北米ユカタン半島に相当する位置に、天体衝突が起きたクレーターが発見されており、天体衝突によって生じたエアロゾルの遮蔽効果が地球表層の寒冷化を引き起こし、光合成などの生物活動をはじめとした生態系の崩壊をもたらしたと考えられている。

問題4

問1 C

問2 Fe

問3 物理的条件は、堆積場に酸素が不足することによって、底生生物（ベントス）の活動による層構造の擾乱が起こらず、動物の頭部や付属肢などの位置が、乱されることなく、堆積岩中に保存されること。化学的条件は、動物の軟組織などの有機物が、分解される際に生成された硫化水素と間隙水の鉄を原料として、黄鉄鉱などの鉱物が動物の体形にそって形成され、化石化すること。

C (地球科学II) 解答例

問題 1

問 1 a : チタン鉄鉱 (ilmenite)

b : 磁鉄鉱 (magnetite)

c : カンラン石 (olivine)

d : 普通輝石 (augite)

e : 斜長石 (plagioclase)

問 2 a (チタン鉄鉱) .

(2)から(3)で TiO_2 が減少しており, TiO_2 を含む鉱物はaだけだから.

問 3 晶出終了 : c, 晶出開始 : b

(3)以降, MgO の減少が緩やかになるため, cの晶出はほぼ終了したと判断できる. 一方, FeO^* が増加から減少に転じるため, bの晶出が始まったと考えられる.

問 4 玄武岩質マグマから花崗岩質残液をつくるには, 大量の結晶を分離する必要がある. そのため, 最終的に残る花崗岩質マグマの量はごく少なくなる. よって, 大規模な花崗岩体を分別結晶作用だけで形成するのは困難である.

問 5 ソレアイト系列

磁鉄鉱・チタン鉄鉱などの鉄に富む鉱物の晶出が遅いと, 鉄が残液に濃集する. これらが早く晶出すると, 鉄の濃集は起こりにくい.

問題 2

問 1 同質異像, または多形

問 2

(1) ㉞, ㉟, ㊱

(2) ㉟, ㊱, ㉞

問 3

$$(1) P = T \frac{\Delta S(T_0, P_0)}{\Delta V(T_0, P_0)} - \frac{\Delta H(T_0, P_0)}{\Delta V(T_0, P_0)} + P_0$$

(2) ㉗-㉘ : 正, ㉗-㉙ : 正, ㉘-㉙ : 負

(3) ㉗-㉘ : 310 °C, ㉗-㉙ : 171 °C, ㉘-㉙ : 727 °C

(4) 490 °C, 0.36 GPa

問 4 (d) : 温度の上昇とともに安定になる鉱物相は㉗→㉙→㉘, 圧力の上昇とともに安定になる鉱物相は㉙→㉘→㉗であるため, この関係を満たす図は(b)か(d)になる. 反応曲線の勾配は, ㉘-㉙が負で, ㉗-㉘と㉗-㉙は正であり, ㉗-㉙ < ㉗-㉘であるため, この関係を満たす図は (d)となる.

問 5 ㉗ : 藍晶石, ㉘ : 珪線石, ㉙ : 紅柱石

問題 3

問 1

(1) 248°, 大きさ74 mm/yr

(2) 南西方向への斜め沈み込みから生じる海溝に平行な運動成分によって, 右ずれの横ずれ断層となる.

問 2

(1) 約 4.5 km

(2) 約 4.1 km

D (地球科学 III) 解答例

問題 1

問 1

- (1) 始原的コンドライト隕石の化学組成分析は難揮発性元素の存在度推定に有効であり、太陽スペクトル観測はH, Heなど揮発性元素の推定に有効である。両者を相補的に用いることで太陽系元素存在度が推定される。
- (2) HおよびHeはビッグバン元素合成によって宇宙初期に大量に生成されたため、現在でも極めて高い存在度を示す。
- (3) Fe付近の核種は核子あたりの結合エネルギーが最大付近にあり、恒星内部の核融合反応の終着点となるため、Fe付近に存在度ピークが形成される。
- (4) 一般に、原子核はその中の核子が偶数個の場合に安定となる傾向がある。偶数原子番号元素は、陽子数および中性子数がともに偶数の安定な核種を多くもち、奇数原子番号元素より安定となる傾向があるため、高い存在度を示す。

問 2

- (1) ほぼ等しい。放射平衡では、 ^{238}U の壊変による ^{226}Ra の生成率と壊変率が等しくなるため、両核種の単位時間あたりの壊変数が一致する。
- (2) 放射平衡では、

$$R(^{226}\text{Ra}) = R(^{238}\text{U})$$

であるから

$$\lambda(^{238}\text{U})N(^{238}\text{U}) = \lambda(^{226}\text{Ra})N(^{226}\text{Ra})$$

となる。したがって

$$\frac{N(^{226}\text{Ra})}{N(^{238}\text{U})} = \frac{\lambda(^{238}\text{U})}{\lambda(^{226}\text{Ra})} = \frac{T_{1/2}(^{226}\text{Ra})}{T_{1/2}(^{238}\text{U})}$$

$$T_{1/2}(^{226}\text{Ra}) \approx 1.6 \times 10^3 \text{ yr}$$

$$T_{1/2}(^{238}\text{U}) \approx 4.5 \times 10^9 \text{ yr}$$

より、

$$\frac{N(^{226}\text{Ra})}{N(^{238}\text{U})} \approx 4 \times 10^{-7}$$

となる.

- (3) ^{222}Rn が系外へ逸散すると、その壊変による ^{214}Pb および ^{214}Bi の供給量が減少し、 ^{222}Rn との放射平衡が崩れるため、これらの R の値は低下する.
- (4) Pb は、中性子捕獲を伴う元素合成過程によって生成されるとともに、長寿命放射性核種の放射壊変系列の最終生成物として蓄積するため、宇宙元素存在度において比較的高い存在度を示す. 天然物質中の Pb 同位体には、 ^{238}U 系列由来の ^{206}Pb に加え、 ^{235}U 系列（アクチニウム系列）由来の ^{207}Pb 、および ^{232}Th 系列（トリウム系列）由来の ^{208}Pb が含まれ、それぞれ放射壊変起源の Pb 同位体として存在している.

問題 2

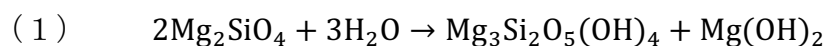
- (ラセミ化) アミノ酸などの光学活性分子において、L体とD体の比が時間とともに平衡値へ近づく過程をラセミ化という. 生体では通常L体が優勢であるため、ラセミ化の程度は有機物の起源や熱履歴、年代推定の指標として利用される. また、隕石有機物や非生物有機合成との関連でも重要である.
- (続成作用) 堆積物中の有機物や鉱物が、埋没後に温度・圧力・微生物活動などの影響を受けて変化する過程である. 有機物はケロジェンを経て石油・天然ガスへ変化し、堆積環境や熱履歴の理解に重要である.
- (非生物有機合成) 生命活動を介さずに有機物が生成される過程である. 原始地球の熱水環境や星間氷への紫外線照射などによって有機分子が形成されると考えられている. 生命起源研究や隕石・彗星中の有機物の形成過程との関連で重要な概念である.
- ($\delta^{13}\text{C}$) 試料中の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を標準試料との差として千分率 (‰) で表した値であり、炭素同位体分別を示す指標である. 光合成やメタン生成では軽い ^{12}C が優先的に利用されるため、有機物やメタンの $\delta^{13}\text{C}$ 値から、生物起源・非生物起源や反応過程を推定することができる.
- (メタン生成) 有機物分解や二酸化炭素還元などによってメタンが生成される過程である. 湖沼底質や堆積物などの嫌気環境では、メタン生成菌による生物学的生成が重要である. 一方、高温環境では有機物の熱分解によっても生成

されるため、同位体比は起源推定に利用される。

(バイオマーカー) 特定の生物に由来し、堆積後も比較的安定に保存される有機分子である。ホパンやステランなどが代表例であり、過去の生物活動や堆積環境を推定する指標として利用される。有機物の起源や続成作用による変化を理解する上でも重要である。

問題 3

問 1



(2) HF-H₂SO₄分解後、過マンガン酸カリウム標準溶液による酸化還元滴定により、Fe(II)がFe(III)へ酸化される際の酸化剤消費量からFe(II)量を求める。

(別解：HF-H₂SO₄分解後、1,10-フェナントロリンを加えてFe(II)と赤橙色錯体を形成させ、その吸光度からFe(II)量を定量する。) 酸素を含まない酸性条件下で試料を分解し、分解後は速やかに分析することでFe(II)の空気酸化を防ぐ必要がある。

(3) MgO = 37.6 wt% より

$$n_{\text{Mg}} = \frac{37.6}{24.31 + 16.00} = 0.933$$

FeO = 5.2 wt% より

$$n_{\text{Fe}} = \frac{5.2}{55.85 + 16.00} = 0.0724$$

したがって、

$$\frac{\text{Mg}}{\text{Mg} + \text{Fe}} = \frac{0.933}{0.933 + 0.0724} = 0.928$$

答：有効数字2桁で、0.93

(4) 磁鉄鉱 Fe₃O₄ (他：赤鉄鉱 ゲータイトなども可)：蛇紋岩化作用では、元のかんらん石中のFe(II)の一部が酸化され、Fe(III)を含む磁鉄鉱が生成する場合がある。

問 2

- (1) 110 °C程度で失われる成分は、鉱物表面に吸着していた水や、弱く保持された水分である.
- (2) 主として蛇紋石の結晶構造中に存在するOH基に由来する. 強熱によって脱水反応が起こり, OH基がH₂Oとして放出される.
- (3) (Mg_xFe^{II}_{1-x})₃Si₂O₅(OH)₄の式量 M は, モル比 x を用いて,

$$\begin{aligned} M &= 3\{24.31x + 55.85(1 - x)\} + 2 \times 28.09 + 9 \times 16.00 + 4 \times 1.01 \\ &= 371.77 - 94.62x \end{aligned}$$

とあらわされる. $x = 0.928$ を代入して,

$$M = 371.77 - 94.62 \times 0.928 = 283.96 \approx 284 \text{ と求められる.}$$

OH基4個は2H₂Oに対応するので, H₂O含有量(重量%)は

$$\frac{2(2 \times 1.01 + 16.00)}{284} \times 100 = 12.7\%$$

答: 有効数字2桁で, 13%

- (4) Fe(III)を含む無水の酸化物鉱物

試料Aの強熱時のH₂O放出量 (11.2 wt%) は, 蛇紋石の理論値に近いことから, 試料Aは蛇紋石を主要構成鉱物として含むと考えられる. 一方, 実測値は理論値よりやや低いことから, 蛇紋石のみからなる単一鉱物試料ではなく, H₂Oを含まない鉱物が少量共存すると推定される.

- (5) 石膏 (CaSO₄·2H₂O) では, 結晶水が含まれており, 加熱によって放出された結晶水がペンフィールド法で定量される. したがって, 測定されるH₂Oは鉱物中に結晶水として存在していた成分に由来する.

(ほかに, その他の鉱物の結晶水, 粘土鉱物中の層間水, 非晶質ケイ酸塩中のOH基・分子状H₂Oなども可)

E (物理学) 解答例

問題 1 (導出過程を省略)

問 1

$$(1) \quad G \frac{Mm_0}{r_0^2} = m_0 \frac{v^2}{r_0}$$

$$(2) \quad \frac{2\pi r_0}{T}$$

$$(3) \quad \frac{4\pi^2 r_0^3}{GT^2}$$

問 2

$$(1) \quad 4\pi r^2 \rho dr$$

(2) 薄い球殻上の微小質量 dm の位置座標を (x, y, z) とすると, $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ である. 球殻の対称性から $\int x^2 dm = \int y^2 dm = \int z^2 dm$ となるため, 自転軸 (z 軸) まわりの慣性モーメント I は, $I = \int (x^2 + y^2) dm = \frac{2}{3} \int (x^2 + y^2 + z^2) dm = \frac{2}{3} \int r^2 dm = \frac{2}{3} mr^2$ となる.

$$(3) \quad \frac{8}{3} \pi \rho r^4 dr$$

$$(4) \quad \frac{8}{15} \pi \rho R^5$$

(5) 一様な球の質量は $M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$ である. (4) の慣性モーメントを M を用いて表すと, $I = \frac{8}{15} \pi \rho R^5 = \frac{2}{5} \left(\frac{4}{3} \pi R^3 \rho \right) R^2 = \frac{2}{5} MR^2 = 0.4 MR^2$ となる. したがって, 慣性モーメント係数は $k = 0.4$ となる.

問 3

$$(1) \quad M_c = \frac{4}{3}\pi R_c^3 \rho_c, \quad M_m = \frac{4}{3}\pi(R^3 - R_c^3)\rho_m, \quad M = \frac{4}{3}\pi\{R_c^3 \rho_c + (R^3 - R_c^3)\rho_m\}$$

$$(2) \quad \frac{8}{15}\pi\{\rho_c R_c^5 + \rho_m(R^5 - R_c^5)\}$$

$$(3) \quad M = \frac{3}{2}\pi\rho_m R^3, \quad I = \frac{11}{20}\pi\rho_m R^5$$

$$(4) \quad \frac{11}{30}$$

問題 2

問 1 dS は, dU の関係から以下のように書ける.

$$dS = \frac{1}{T} dU + \frac{p}{T} dV$$

これに U の全微分を代入すると

$$\begin{aligned} dS &= \frac{1}{T} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV + \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT \right] + \frac{p}{T} dV \\ &= \frac{1}{T} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left[\frac{1}{T} \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + \frac{p}{T} \right] dV \end{aligned} \quad (1)$$

と書ける. S の全微分は

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T dV$$

であるため, (1) 式と比較すると, 以下の関係が得られる.

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V = \frac{1}{T} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = \frac{1}{T} \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + \frac{p}{T}$$

問 2 状態量である S は微分の順番を変えても変わらないため, 以下の関係が成り立つ.

$$\left(\frac{\partial}{\partial V} \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V \right)_T = \left(\frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T \right)_V \quad (2)$$

(2) 式の左辺は, 問 1 の関係を用いると

$$\left(\frac{\partial}{\partial V}\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V\right)_T = \frac{1}{T}\left(\frac{\partial}{\partial V}\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V\right)_T = \frac{1}{T}\left(\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T\right)_V$$

(2) 式の右辺は、問 1 の関係と理想気体の状態方程式を用いると

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T\right)_V &= \left(\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{1}{T}\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + \frac{p}{T}\right)\right)_V \\ &= \left(\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{1}{T}\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + \frac{nR}{V}\right)\right)_V \\ &= \left(\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{1}{T}\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T\right)\right)_V \\ &= -\frac{1}{T^2}\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + \frac{1}{T}\left(\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T\right)_V\end{aligned}$$

と書ける． よって (2) 式が成り立つためには

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0$$

問 3 問 2 の結果から

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = \frac{dU}{dT}$$

H の関係を用いると

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p + p\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

U が温度のみの関数であることと、理想気体の状態方程式を用いると

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = \frac{dU}{dT} + p \frac{nR}{p} = \frac{dU}{dT} + nR$$

よって

$$\begin{aligned}
 C_p - C_v &= \frac{1}{n} \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p - \frac{1}{n} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v \\
 &= \frac{1}{n} \frac{dU}{dT} + R - \frac{1}{n} \frac{dU}{dT} = R
 \end{aligned}$$

問4 断熱過程では

$$dU + p dV = 0$$

C_v の関係と理想気体の状態方程式を用いると,

$$nC_v dT + \frac{nRT}{V} dV = 0$$

この関係を, $C_p - C_v = R$ を用いて変形すると

$$\begin{aligned}
 (C_p - C_v) \frac{dV}{V} &= -C_v \frac{dT}{T} \\
 \frac{dV}{V} &= -\frac{1}{\gamma - 1} \frac{dT}{T}
 \end{aligned}$$

この関係を積分すると

$$\begin{aligned}
 \log V &= -\frac{1}{\gamma - 1} \log T + C \\
 (\gamma - 1) \log V + \log T &= (\gamma - 1) C
 \end{aligned}$$

ここで C は定数. よって

$$TV^{\gamma-1} = \text{一定}$$

問5

(1) 問4 の関係を用いると

$$2 \rightarrow 3 : T_A V_2^{\gamma-1} = T_B V_3^{\gamma-1}$$

$$4 \rightarrow 1 : T_B V_4^{\gamma-1} = T_A V_1^{\gamma-1}$$

これらの関係を用いると

$$\frac{T_B}{T_A} = \frac{V_2^{\gamma-1}}{V_3^{\gamma-1}} = \frac{V_1^{\gamma-1}}{V_4^{\gamma-1}}$$

よって

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

(2)

$$1 \rightarrow 2 : W_{12} = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_1}{V} dV = - nRT_A \log(V_2/V_1)$$

なおこの過程では気体は膨張するので気体が受け取った仕事はマイナスとなる。

断熱変化では $TV^{\gamma-1} = pV^{\gamma} = \text{一定}$ であるので、 $p_2 V_2^{\gamma} = p V^{\gamma}$ より $p = p_2 V_2^{\gamma} V^{-\gamma}$ 。
この関係を用いると

$$2 \rightarrow 3 : W_{23} = p_2 V_2^{\gamma} \int_{V_2}^{V_3} V^{-\gamma} dV = \frac{1}{\gamma-1} (p_2 V_2 - p_3 V_3) = \frac{nR}{\gamma-1} (T_B - T_A)$$

$$3 \rightarrow 4 : W_{34} = nRT_B \log(V_4/V_3) = - nRT_B \log(V_2/V_1)$$

$$4 \rightarrow 1 : W_{41} = -W_{23} = - \frac{nR}{\gamma-1} (T_B - T_A)$$

よって

$$W = W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41} = -nR(T_A - T_B) \log(V_2/V_1)$$

または

$$W = nR(T_A - T_B) \log(V_4/V_3)$$

(3)

内部エネルギーの変化量 ΔU は、 W と熱 Q を用いて以下のように書ける。

$$\Delta U = W + Q$$

1 サイクル後は同じ状態なので, $\Delta U = 0$ であるため,

$$Q = -W = nR(T_A - T_B) \log(V_2/V_1)$$

または

$$Q = -nR(T_A - T_B) \log(V_4/V_3)$$

T_B は気体の断熱膨張による温度であるため, $T_B < T_A$, さらに $V_2 > V_1$ と $V_4 < V_3$ から, Q は正の値となり, 気体は1 サイクルの間に熱を受け取る.

F（化学）解答例

問題 1

問 1

- (1) 分子量が大きいエチレンは、メタンよりも分子内の総電子数が多いため、分子内で電子の偏りが生じやすく、分子間に働くファンデルワールス力が強くなり、沸点がより高くなる。
- (2) 立体構造のエタンは、平面構造のエチレンに比べて分子同士が接近したときの接触面積が広い。その結果、エタンの分子間に働くファンデルワールス力が強くなり、沸点はより高くなる。

問 2

- (1) $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3 + \text{CH}_2=\text{CH}_2$

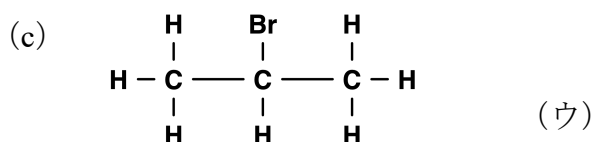
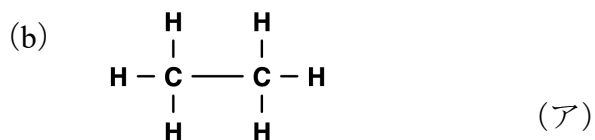
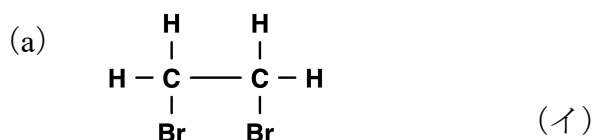
切断された結合と、生成された結合に注目する

切断された結合：C-C 2箇所，生成された結合：C=C 1箇所

$$\Delta H = 348 \text{ kJ/mol} \times 2 - 612 \text{ kJ/mol} \times 1 = +84 \text{ kJ/mol}$$

- (2) この反応は $\Delta H > 0$ の吸熱反応であり，炭化水素の結合の切断に多大なエネルギーを必要とするため。

問 3



問 4

- (1) $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

副生したメタン量 $16.0 \text{ kg}/16.0 = 1.00 \text{ kmol}$

燃焼して生成するCO₂量も1.00 kmol

CO₂の質量は, $1.00 \text{ kmol} \times 44.0 = 44.0 \text{ kg}$

- (2) 赤外線は、振動に伴って双極子モーメント（電子の偏り）が変化する分子振動に吸収される．CO₂やCH₄にはこのような振動（IR活性振動）があり、赤外線を吸収する．一方、N₂やO₂は振動しても双極子モーメントが変化しないため、赤外線をほとんど吸収しない．

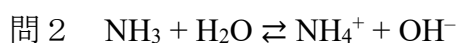
問 5

- (1) (イ)

- (2) 過酸化物などの開始剤に熱を加えることで、不対電子を持つ不安定なラジカルが発生し、これがエチレンの二重結合を攻撃し、ラジカル重合反応が開始する．攻撃されたエチレンの端が新たなラジカルとなり、次のエチレンの二重結合を次々と攻撃し、炭素の鎖が急速に伸びていく成長（連鎖）段階になる．最後に、伸びている炭素の鎖の先端同士が衝突して結合して連鎖反応が停止し、ポリマーが完成する．

問題 2

問 1 $0.6806 \text{ g}/65.38/1 \text{ L} = 0.0104099\cdots = 0.01041 \text{ mol/L}$



$$K_b = [\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]/[\text{NH}_3]$$

$$1.8 \times 10^{-5} = (1.0 \text{ mol/L} \times [\text{OH}^-]) / 5.0$$

$$[\text{OH}^-] = 9.0 \times 10^{-5}$$

$$\text{pH} = 14.0 - \text{p}[\text{OH}^-] = 10.0$$

問 3 $0.1041 \text{ mol/L} \times 10 \text{ mL}/1000 \text{ mL} = x \times 10.32 \text{ mL}/1000 \text{ mL}$

$$x = 0.010087\cdots = 0.01009 \text{ mol/L}$$

- 問 4 試料中のAl³⁺やFe³⁺などのイオンはEBTやNN指示薬と強く結合し、滴定終点付近で指示薬の変色を妨害することから、これを防ぐため．

問 5 $[\text{Mg}^{2+}] + [\text{Ca}^{2+}] = y \text{ (mol/L)}$

$$y \times 50 \text{ mL}/1000 \text{ mL} = 0.01009 \times 14.21 \text{ mL}/1000 \text{ mL}$$

$$y = 2.868 \times 10^{-3}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = x \text{ (mol/L)}$$

$$x \times 50 \text{ mL} / 1000 \text{ mL} = 0.01009 \times 12.68 \text{ mL} / 1000 \text{ mL}$$

$$x = 2.559 \times 10^{-3}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = y - x = 3.09 \times 10^{-4}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 2.559 \times 10^{-3} \text{ (mol/L)} \times 40.08 \times 10^3 \text{ (mg)} = 102.6 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = 3.09 \times 10^{-4} \text{ (mol/L)} \times 24.31 \times 10^3 \text{ (mg)} = 7.51 \text{ mg/L}$$

問 6 操作BのpH条件 (pH 10) では Ca^{2+} も Mg^{2+} も溶解した状態であるが、pH 13では Mg^{2+} は沈澱し、 Ca^{2+} は溶解しているため、 Ca^{2+} のみの滴定が可能である。

G（生物学）の解答例

問題 1

問 1 雌に比べて大きな雄の体サイズ

問 2 相利共生

問 3 集団全体をその戦略が占めている場合に，他のどんな変異型が少数侵入しても頑健である戦略のこと．

問 4 雌

問 5 性比が雄に偏った集団では，雄間競争が激しく，雄の平均繁殖成功度は雌より低くなるため，雌を高い割合で産む遺伝子が選択される．一方，逆の状況では，雄は多くの雌と交配できるため，雄を高い割合で産む遺伝子が選択される．こうした頻度依存選択により，性比が1:1からずれた集団では，1:1に戻すような性比調節が自然選択により起こる．

問題 2

問 1 ア：葉緑体 イ：ミトコンドリア ウ：常 エ：性 オ：mRNA
カ：リボソーム キ：アミノ酸 ク：イントロン ケ：エキソン
コ：塩基

問 2

（1）核を持つ，膜で包まれた細胞小器官を持つ，など．

（2）植物①，細菌②，古細菌②，真菌類①

問 3

（1）18本

（2）16通り

問4 mRNAによりエキソンが異なり、同じ遺伝子でも使われる遺伝子配列が変わり、異なるポリペプチドが作られるため.

問5

- (1) ウイルスは細胞がなく、自分自身のみで増殖することができないから.
- (2) 細菌

問題3

- (1) 定位：生物が光や音，化学物質などの刺激の方向や位置を感知し，それに応じて特定の方向に自分のからだを向けること.
- (2) メタ個体群：空間的に分割された複数の局所個体群の集合となっており，移入と移出を通じて相互作用する個体群構造のこと.
- (3) 競争排除則：同じ限られた資源を利用する2種では，資源獲得に優れた種が有利に繁殖し，最終的に他種を排除するという考え方.
- (4) 生物学的濃縮（生物濃縮）：食物連鎖を通じて化学物質が高次の消費者へ移行し，生体内に蓄積されることで濃度が栄養段階の上位ほど高くなる過程.
- (5) ロジスティック個体群成長：個体群サイズが初期には指数関数的に増加するものの，環境収容力に近づくにつれて成長率が低下する現象.
- (6) キーストーン種：群集における優占度が小さいにも関わらず，その生態学的役割やニッチのため，群集構造に大きな影響を与える種のこと.
- (7) ベイツ式擬態：無害で食べられる種が，有毒で忌避される種に似ることで，捕食者を欺き被食を避ける利益を得る擬態.
- (8) 二次遷移：山火事や森林伐採など、なんらかの攪乱が既存の群集を破壊し，土壌が残った状態から始まる生態的遷移.

H (数学) 解答例

詳細な計算過程は省略する.

問題 1 係数行列の行列式は,

$$\begin{vmatrix} 1 & a & e^a \\ 1 & a + e^a & a^2 + e^a \\ 2 & 2a & 3e^a \end{vmatrix} = e^{2a}$$

であり, これは全ての実数 a に対して0ではないので, 与えられた連立1次方程式は任意の実数 a に対して一意の解をもつ.

問題 2

$$\text{問 1} \quad \int_1^{\sqrt{3}} \frac{\log \sqrt{1+x^2}}{x^2} dx = \left[\tan^{-1} x - \frac{\log(1+x^2)}{2x} \right]_1^{\sqrt{3}} = \frac{\pi}{12} + \frac{3-2\sqrt{3}}{6} \log 2$$

問 2 $x = a \cos^2 t + b \sin^2 t$ とおくと,

$$x - a = (b - a) \sin^2 t, \quad b - x = (b - a) \cos^2 t, \quad dx = 2(b - a) \sin t \cos t dt$$

$$\int_a^b \frac{1}{\sqrt{(x-a)(b-x)}} dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{2(b-a) \sin t \cos t}{\sqrt{(b-a)^2 \sin^2 t \cos^2 t}} dt = \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2 dt = \pi$$

$$(\because b - a > 0)$$

問題 3

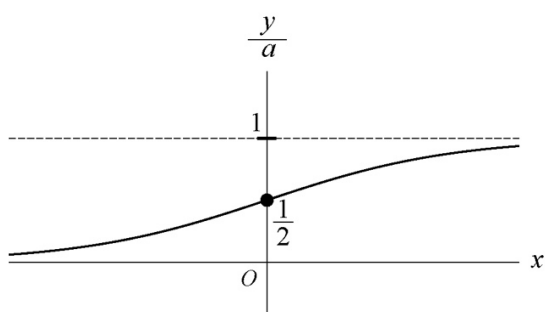
$$\text{問 1} \quad \left| \frac{a}{y} - 1 \right| = e^{-(x+B)} = Ce^{-x} \quad (B \text{ は任意定数}, C > 0)$$

$$y < a \text{ だから, } \frac{a}{y} - 1 > 0. \text{ よって, } \frac{a}{y} - 1 = Ce^{-x} \Leftrightarrow y = \frac{a}{1 + Ce^{-x}}$$

$$y(0) = \frac{a}{2} \text{ より, } C = 1. \text{ よって, } y = \frac{a}{1 + e^{-x}}$$

問 2 $x = 0$

問 3



問題 4

$$\begin{aligned} \text{問 1} \quad F(k) &= \int_{-\infty}^0 e^x e^{-ikx} dx + \int_0^{\infty} e^{-x} e^{-ikx} dx \\ &= \left[\frac{1}{1-ik} e^{(1-ik)x} \right]_{-\infty}^0 + \left[\frac{-1}{1+ik} e^{-(1+ik)x} \right]_0^{\infty} = \frac{2}{1+k^2} \end{aligned}$$

$$\text{問 2} \quad F(k) = \pi e^{-|k|}$$

問題 5

$$\text{問 1} \quad P = \begin{bmatrix} r & q & 0 & q \\ q & r & q & 0 \\ 0 & q & r & q \\ q & 0 & q & r \end{bmatrix}$$

問 2 固有値 λ は, $\lambda = 1$, r (重複度 2), $2r - 1$

固有ベクトルの例は,

$$\lambda = 1 : \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \lambda = r : \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad \lambda = 2r - 1 : \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\text{問 3} \quad a_n = \frac{1}{4} + \frac{1}{2}r^n + \frac{1}{4}(2r - 1)^n$$

$$\text{問 4} \quad \frac{1}{4}$$